Das Hintergrund-Störsignal im Fernsehverstärker

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
genehmigt von der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

von

Joachim Schloemilch

aus Berlin-Friedenau

Tag der mündlichen Prüfung: 23. Juni 1937
Tag der Promotion: 6. Januar 1938

Jena 1938

Universitäts-Buchdruckerei Gustav Neuenhahn, Jena

N 89

Referenten: Professor Dr. Schröter, T. H.
Professor Dr. Wehnelt.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

1. Eigenschaften des Fernsehverstärkers.

Der Fernsehverstärker ist dasjenige Glied einer Bildübertragungsanlage, welches auf der Senderseite zwischen der Aufnahmephotozelle (Hochvakuumphotozelle mit Nipkowscheibe oder Ikonoskop) und der hochfrequenten Sendeanordnung, auf der Empfangsseite zwischen der Empfangsantenne und dem Bildwiedergabeapparat (z. B. Braunsche Röhre) liegt. Zur Zeit der Abfassung der Arbeit wurde mit Bildern von 200 Zeilen, d. h. ca. 40 000 Bildpunkten gearbeitet, die pro Sekunde 25mal übertragen wurden. Unter diesen Umständen müssen pro Sekunde 10^6 Bildpunkte übertragen werden. Da die höchste zu übertragende Frequenz dann vorkommt, wenn ein sehr heller und ein sehr dunkler Bildpunkt aufeinander folgen, beide also ins Elektrische übertragen eine Wechselstromperiode ergeben, ist die höchste vom Verstärker abzugebende Frequenz gleich der halben Bildpunktzahl pro Sekunde. Die niedrigste zu übertragende Frequenz tritt dann auf, wenn die ganze Bildfläche annähernd die gleiche Helligkeit hat. Daraus ergibt sich als Forderung für den Fernsehverstärker bei einer Bildwechselzahl von 25 pro Sekunde und 200 Zeilen die amplitudengetreue Wiedergabe eines Frequenzspektrums von 500 kHz Bandbreite. Die erforderliche Verstärkungszahl (Spannung am Steuergitter der ersten Röhre: Spannung am Anodenwiderstand der letzten Röhre) ist natürlich von Fall zu Fall verschieden. Wird vor dem Senderverstärker ein Abtastorgan ohne Speicherwirkung, wie es etwa bei der Nipkowscheibe vorliegt, verwendet, so ist im allgemeinen eine Verstärkungszahl von 30 000 bis 50 000 erforderlich, während ein Abtastorgan mit Speicherwirkung (Ikonoskop) mit geringeren Verstärkungen (2000 bis 10 000) ausreichende Spannungen ergibt.

Auf der Empfängerseite dient der Fernsehverstärker entweder zur direkten Verstärkung der empfangenen Ultrakurzwelle oder zur indirekten der nach dem Überlagerungsprinzip erzeugten Zwischenfrequenzwelle. In beiden Fällen ist bei normalen Empfangsbedingungen etwa 30 000fache Verstärkung zur Aussteuerung der Kathodenstahlröhre erforderlich. —

2. Beobachtete Erscheinungen.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß sich der Fernsehverstärker hinsichtlich des übertragenen Frequenzbandes von allen sonst in der Nachrichtentechnik gebräuchlichen Verstärkern unterscheidet: Die von seiner Verstärkungskurve (Verstärkungszahl über die Frequenz aufgetragen) umschriebene Fläche ist wesentlich größer als beispielsweise bei einem guten Rundfunkgerät. Das Rundfunkgerät verstärkt nur solche Störungen, deren Frequenz innerhalb des engen 9 kHz-Bandes liegen, die relativ selten vorkommen gegenüber Störungen im großen Frequenzspielraum von 500 kHz, welcher vom Fernsehverstärker umfaßt wird. Daraus folgt für den Fernsehverstärker eine größere Anfälligkeit gegen alle Arten von Störungen, welche ihren Ursprung im Verstärker selbst haben oder ihn von außen beeinflussen.

Alle einen Verstärker von a u ß e n beeinflussenden Störungen lassen sich durch entsprechende Maßnahmen (Abschirmung, sauberer Aufbau usw.) restlos beseitigen. Auch die Störungen, welche im Verstärker selbst entstehen, sind teilweise vermeidbar, wie Röhrenklingen u. ä. Zu den n i c h t v e r m e i d b a r e n Störungen gehört vor allem die Temperaturspannung, welche an allen Widerständen (vgl. Lit. 10, 14), also auch an den Koppelwiderständen besonders im Gitterkreis der ersten Röhre, auftritt, sowie die bekannten Röhrenstöreffekte, der Schroteffekt (vgl. Lit. 1 bis 13), der Funkel- und Flickereffekt (vgl. Lit. 18, 19). Diese Erscheinungen machen sich wegen der hohen nachfolgenden Verstärkung am störendsten in der ersten Verstärkerstufe bemerkbar. Sie begrenzen die gesamte mögliche Verstärkung, da sie einer am 1. Gitter liegenden Wechselspannung gleichkommen und ein Signal, dessen Amplitude kleiner oder gleich dem Spitzenwert dieser Wechselspannung ist, trotz beliebig hoher Verstärkung nicht aus dem Pegel der Störspannung herausgehoben werden kann. Das Amplitudenverhältnis Nutz- zu Störspannung ist also hinter jeder beliebigen Verstärkung gleich dem Verhältnis vor der Verstärkung.

Die erwähnten Störungsursachen machen sich auf dem Raster der Braunschen Röhre dadurch bemerkbar, daß kein klares Strichraster (vgl. Abb. 1a), sondern ein durch kürzere oder längere Lichtblitze aufgehelltes Raster (vgl. Abb. 1b) entsteht. In der ersten Zeit nach dem Einschalten eines Fernsehverstärkers wird das Bild durch Einschaltstörungen u. dgl. gestört. Diese werden aber nach kurzer Zeit kleiner, da im Laufe des Betriebes von Verstärkerröhren Emissionsschwankungen und andere Instabilitäten, welche beim An-

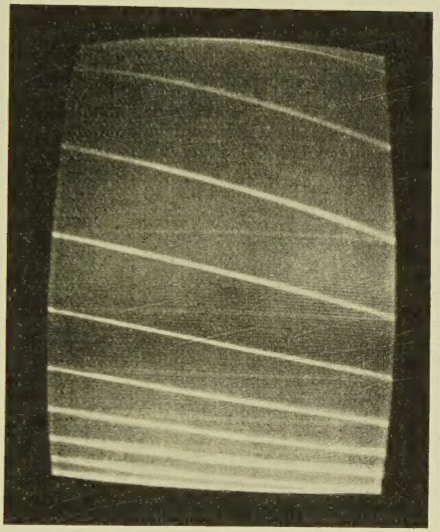

Abb. 1a. Nicht durch Störeffekte beeinflußtes Fernsehraster.

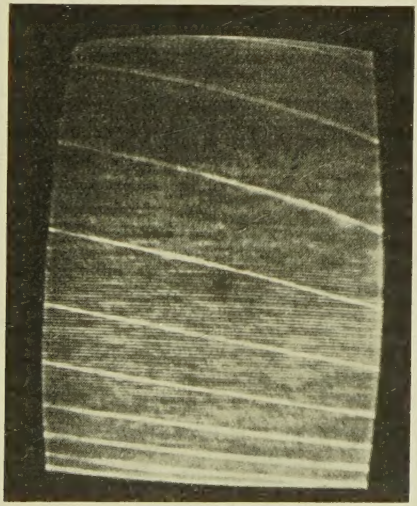

Abb. 1b. Durch Hintergrundstörsignal beeinflußtes Fernsehraster.

heizen infolge ungleichmäßiger Erwärmung sowie verschiedener Schichtdicke der Emissionspaste stark hervortreten, geringer werden und in dem vom Schroteffekt erzeugten Pegel verschwinden. Der Schroteffekt macht sich akustisch am Ausgang eines Verstärkers ausreichender Verstärkungszahl als Rauschen bemerkbar; auf der Braunschen Röhre des Fernsehempfängers ergibt er Störungen des Rasters, wie sie in Abb. 1b gezeigt werden. Der Schroteffekt beruht auf der statistischen Gesetzen gehorchenden Inkonstanz der zur Anode gelangenden Elektronenzahl und ist damit der einzige Röhrenstöreffekt, welcher durch kein Mittel vermeidbar ist. Er setzt der erreichbaren Verstärkung eine natürliche Grenze, welche auf keine Weise überschritten werden kann. In genau der gleichen Weise wie der Schroteffekt äußert sich auch die an Widerständen entstehende Temperaturspannung, welche jedoch in Verstärkern dadurch vermindert werden kann, daß Widerstände kleiner Ohmscher Komponenten verwendet werden. Außerdem kann die Wärmespannung durch Abkühlen des Widerstandes verkleinert werden.

Als Störeffekt kommt ferner, wenn auch sehr selten, der Ionenlaufzeiteffekt in Frage (vgl. Lit. 15), welcher jedoch nur in Röhren mit extrem schlechtem Vakuum auftritt.

3. Höhe der vom Schroteffekt und von der Temperaturbewegung der Elektronen herrührenden Störspannung.

Alle diese Röhreneffekte unterscheiden sich in ihrer Auswirkung stark voneinander. Während der Funkeleffekt nur in niederfrequenten Bereichen bis zu etwa 10^4 Hz vorkommt und vor allem mit der Frequenz abnimmt, erzeugt der Schroteffekt (ebenso übrigens der Wärmeeffekt, obwohl dieser nicht als Röhreneffekt bezeichnet werden kann) eine von der Frequenz völlig unabhängige Störspannung, welche bis zu den höchsten, noch mit Röhren verstärkbaren Frequenzen gleiche Amplitude zu haben scheint. Der Ionenlaufzeiteffekt hingegen tritt nur in eng begrenzten Frequenzbereichen auf, deren Lage im Spektrum von der Art des Gases in der Röhre, deren Amplitude vom Gasdruck abhängt.

Zur Übersicht sind in der Abb. 2 die Frequenzgänge der Störeffekte dieser Erscheinungen schematisch zusammengestellt. Die Kurven zeigen nur den Verlauf der Störerscheinungen relativ zueinander, ohne etwas über die absolute Größe auszusagen, welche von Fall zu Fall, sowohl hinsichtlich der Frequenzintervalle als auch der Amplituden verschieden ist.

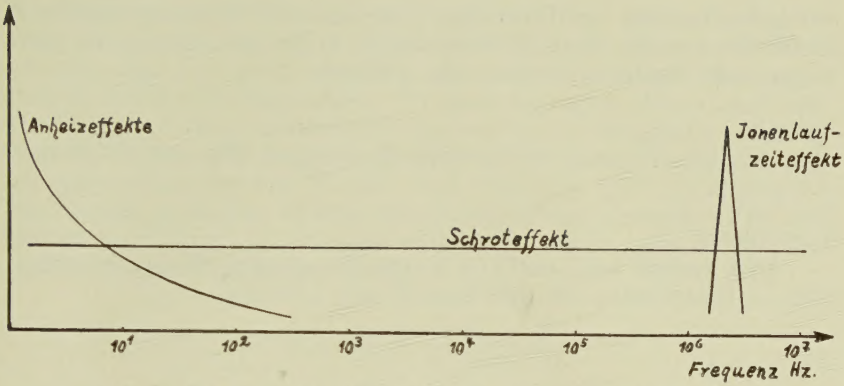

Abb. 2. Schematischer Verlauf der Röhrenstörerscheinungen.

Aus dem Gesagten kann noch nicht eindeutig erkannt werden, welche dieser verschiedenen Ursachen für das Hintergrundstörsignal des Fernsehverstärkers in Frage kommen, trotzdem der Schroteffekt als Ursache am wahrscheinlichsten ist. Um diesen Beweis eindeutig zu liefern, wurde die spektrale Intensitätsverteilung des Hintergrundstörsignals bestimmt. Diese Untersuchung wurde ausgeführt, indem eine Verstärkerstufe vor einen sehr empfindlichen Rundfunkempfänger geschaltet wurde (Frequenzbereich 1500 bis 150 kHz). Es wurde gefunden, daß das Hintergrundstörsignal, unabhängig von der Frequenz, konstante Amplitude hat. Für die Messung wurde ein Überlagerungsempfänger mit Diodengleichrichtung verwendet. Die Amplitude der Störung war bei dieser Messung über den ganzen Frequenzbereich (1500—150 kHz) konstant.

Aus dieser Bestimmung des Frequenzverlaufes des Hintergrundstörsignals geht eindeutig hervor, daß tatsächlich der Schroteffekt oder eine in ihrer Auswirkung gleiche Ursache vorliegt.

Um zu bestimmen, welcher Anteil am Störsignal dem reinen Schroteffekt zuzuschreiben ist, und wieviel dem neuen Röhrenstöreffekt, sei eine kurze Berechnung des zu erwartenden Schrotpegels eingefügt. Bei der Berechnung des Schroteffekts muß die Raumladung vor der Glühkathode berücksichtigt werden.

Llewellyn (vgl. Lit. 6) gibt dafür folgende Beziehung an:

$$U_s^2 = 2\,q\,j\left(\frac{\delta i}{\delta j}\right)^2\left(\frac{R_i \cdot R_a}{R_i + R_a}\right)^2 \int_{f_1}^{f_2} |G(f)|^2\,df \qquad (1)$$

wo q die Ladung des Elektrons, j der von der Kathode emittierte und i der von der Kathode abgesaugte Strom ist. R_i und R_a sind Innen- und Außenwiderstand des Rohres,

$\int_{f_1}^{f_2} G\,(f)\,df$ ist das Verstärkungsintegral des nachfolgenden Verstärkers.

Den Verlauf von i und j im Strom-Temperatur-Diagramm zeigt Abb. 3 (gezeichnet aus den Kurven von Llewellyn, l. c.)

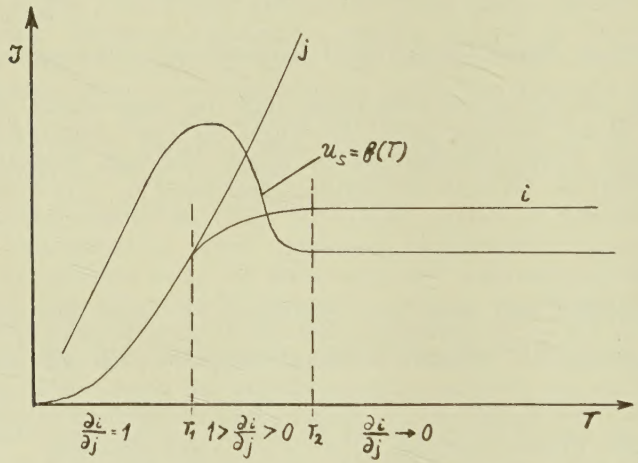

Abb. 3. Schematischer Verlauf von i und j im Strom-Temperatur-Diagramm.

Im Anlaufgebiet, solange sich noch keine Raumladung ausgebildet hat, und alle freiwerdenden Elektronen von der Anode abgesaugt werden, ist $i = j$; $\frac{\delta i}{\delta j} = 1$. In diesem Bereich ist maximaler Schroteffekt vorhanden, und zwar nimmt er bis T_1 zu wegen zunehmender Gesamtemission und erreicht kurz hinter T_1 sein Maximum. Zwischen T_1 und T_2 nimmt er wieder ab und erreicht bei T_2 einen kleinsten Wert; in diesem Bereich bildet sich die Raumladungspotentialsenke aus, so daß die Elektronen zunehmend aus der Raumladung, weniger aus der Kathode direkt abgesaugt werden. Mit zunehmender Heizung wird dann der gesamte Anodenstrom der

Raumladung entnommen, der Schroteffekt nimmt einen konstanten Wert an (vgl. Kurve $U_s = f(T)$ in Abb. 3). In diesem Bereich arbeiten alle modernen Hochleistungskathoden, deren Sättigungsströme größenordnungsmäßig 10^1 Amp betragen, denen aber nur 10^{-3} bis 10^{-2} Amp entnommen werden. Es ist also schon vollständige Raumladung vorhanden. In diesem Fall ist an Stelle von (1) die Anwendung der von Moullin und Ellis (vgl. Lit. 13) abgeleiteten Formel günstiger, welche außerdem für den speziellen Fall des Ohmschen Außenwiderstandes entwickelt wurde, wie er bei den beschriebenen Messungen vorlag:

$$U_s^2 = \frac{Jo \cdot q}{2} \cdot \frac{R_i}{R_i + R_a} \cdot \frac{R_a}{C} \qquad (2)$$

In diese Formel geht die dem Anodenwiderstand parallel geschaltete Kapazität C, welche sich aus der Schaltkapazität sowie der Ausgangskapazität des ersten und der Eingangskapazität des zweiten Rohres zusammensetzt, mit ein. Sie enthält nur noch Größen, welche direkt meßbar sind und ergibt die am Anodenwiderstand des untersuchten Rohres herrschende Schroteffekt-Amplitude. Da der Schroteffekt vom Anodenstrom J_o abhängt, muß in die Formel der Anodenstromwert eingesetzt werden, mit welchem auch alle später beschriebenen Messungen des Hintergrundstörsignals durchgeführt werden sollen, nämlich 10^{-2} Amp, q (die Ladung des Elektrons) ist $1{,}59 \cdot 10^{-19}$ Coul, R_a nur 2000 Ohm und R_i im Betriebszustand 20 000 Ohm. Die Kapazität C betrug 40 cm $= 4 \cdot 10^{-11}$ F (gemessen mit Kapazitätsbrücke).

$$U_s^2 = \frac{10^{-2} \cdot 1{,}59 \cdot 10^{-19}}{2} \cdot \frac{20000}{22000} \cdot \frac{2000}{4 \cdot 10^{-11}}$$

$$U_s^2 = 3{,}6 \cdot 10^{-8}\ \text{Volt}^2$$

$$U_s = 1{,}9 \cdot 10^{-4}\ \text{Volt}$$

Die Verstärkung des nachfolgenden Verstärkers betrug 32 000; im Eingang wurde mit einem Spannungsteiler im Verhältnis 1:2 abgeschwächt, so daß also der zu erwartende Schrotpegel am Ausgang des Verstärkers

$$\frac{1{,}9}{2} \cdot 10^{-4} \cdot 32\,000 = 3{,}04\ \text{Volt}$$

sein müßte. Zu diesem Wert addiert sich die aus der Elektronenbewegung folgende Wärmespannung, welche ihren Ursprung in Widerständen und denselben Frequenzverlauf wie der Schroteffekt hat.

Um Wärmespannung und Schroteffekt zu trennen, wurde das Gitter der zu untersuchenden Röhren direkt geerdet, so daß im Gitterkreis kein Widerstand lag, dessen Wärmespannung von dem Versuchsrohr verstärkt wurde. Diese kann also nur im Anodenwiderstand, hinter dem ersten Verstärkerrohr, auftreten, wo ihre Wirkung, wie die folgende Berechnung zeigt, vernachlässigbar klein gegenüber dem Schroteffekt ist.

Llewellyn (vgl. Lit. 6) gibt für die Wärmespannung an:

$$U_T^2 = 4\ k\ T \int_{f_1}^{f_2} R(f)|G(f)|^2\, df \text{ Volt}^2 \qquad (3)$$

Hierin bedeutet k die Boltzmannsche Konstante ($1{,}37 \cdot 10^{-23}\ \frac{\text{Joule}}{\text{Grad}}$), T die absolute Temperatur des Widerstandes, und R (f) die Impedanz des Widerstandes. Wegen des rein Ohmschen Charakters ist in diesem Fall R (f) = R = 2000 Ohm. G (f) ist die Verstärkung zwischen Eingang und Ausgang des Verstärkers (32 000 bei 500 000 Hz Bandbreite). Die Wärmespannung des Anodenwiderstandes ergibt sich somit zu

$$U_T^2 = 4 \cdot 1{,}37 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 2000 \cdot 32\,000^2 \cdot 500\,000 \text{ Volt}^2$$

$$U_T^2 = 1{,}6 \cdot 10^{-2} \text{ Volt}^2$$

$$U_T = 0{,}126 \text{ Volt}$$

Dieser Wert addiert sich zu der Schrotspannung, so daß der zu erwartende Pegel am Ausgang des Verstärkers $\sqrt{3{,}04^2 + 0{,}126^2} = 3{,}06$ V wird.

Dieser Wert von 3,06 V stellt den durch den Schroteffekt und die Wärmespannung am Röhrenaußenwiderstand erzeugten Pegel dar, welcher sich genau so als Hintergrundstörsignal auf der Braunschen Röhre äußert wie jede andere Störung. Seine Größe kann, bei Konstanthaltung aller anderen Werte, noch durch den Anodenstrom des Rohres verändert werden. Wird auch dieser beim Auswechseln mehrerer Röhren immer wieder auf den gleichen Wert

von 10^{-2} A eingestellt, so muß auch der Pegel des durch diese Effekte erzeugten Hintergrundstörsignals immer gleich sein. Es wurde nun die Beobachtung gemacht, daß mehrere Röhren derselben Type untereinander verschiedene Pegel des Störsignals haben können: Es muß also noch ein weiterer, bislang noch nicht beschriebener Effekt innerhalb der Verstärkerröhren des Fernsehempfängers vorhanden sein. Dieser Effekt erzeugt einen Störsignalpegel, der sich zu dem des Schroteffekts addiert und je nach der Eigenart der Röhre verschieden stark auftritt.

5. Untersuchung der Verschiedenheit des Störpegels serienmäßig hergestellter Röhren.

Auf Grund einer systematischen Untersuchung verschiedener Röhren sollte bestimmt werden, welche Ursachen für die Pegeldifferenzen bei gleichen Röhrentypen in Frage kommen, um in der Lage zu sein, Röhren zu bauen, deren Störsignal nur durch den nicht vermeidbaren Schroteffekt gegeben ist.

Die Untersuchungen wurden so durchgeführt, daß zunächst von den in den verschiedenen Arten des Fernsehverstärkers verwendeten Röhren je eine mit besonders kleinem und mit besonders großem Pegel ausgesucht und dann möglichst genau elektrisch und mechanisch untersucht wurden. Es gelangten je 2 aus einem Vorrat von 30 Stück ausgewählte Exemplare folgender Typen zur Prüfung:

1. S 9 [1]). Es handelt sich hier um eine Fanggitterröhre großer Steilheit, welche vom Verfasser speziell für die Bedürfnisse des Fernsehens gebaut wurde. Die ausgesuchten Exemplare ergaben am Ausgang des Verstärkers, für den auch die Berechnung des Schroteffekts durchgeführt wurde, Störsignalpegel von 4 und 6 Volt. Der Pegel des ruhigeren Rohres dürfte also schon größtenteils auf den (mit 3,06 V berechneten) Schrot- und Wärmeeffekt zurückzuführen sein.
2. Kl 70580. Dies ist eine Dreielektrodenröhre, welche in ihren elektrischen Eigenschaften ungefähr der REN 904 entspricht, hinsichtlich ihres mechanischen Aufbaues jedoch auf besondere Klingfreiheit konstruiert ist. Die Geräuschspannung dieser Röhren wurde nicht gemessen, sondern nur auf dem Fernsehraster beobachtet.

1) Diese Röhre hat inzwischen die Typenbezeichnungen RV 209 und RFE 1 erhalten.

3. R E N 904. Diese Röhre wurde gewählt, um Rückschlüsse ziehen zu können, ob die Störungsursachen, welche an den für Fernsehverstärker verwendeten Röhren untersucht werden sollen, auch im normalen Tonfrequenzverstärker dieselben Störungen hervorrufen. Diese Röhren R E N 904 wurden im normalen Tonfrequenzverstärker ausgesucht, ihre Geräuschspannungen waren, auf das Gitter zurückgerechnet, $1 \cdot 10^{-6}$ und $3 \cdot 10^{-6}$ Volt.

5a. Kennlinieneigenschaften.

Bei der Messung dieser Röhren wurden zunächst die $J_a : U_g$-Kennlinien verglichen und diesen die Röhrenkonstanten entnommen.

Die normalen Röhrenkonstanten (S, D, R_i) zeigen kein unterschiedliches Verhalten, es läßt sich also noch nicht erkennen, welche Ursache für die verschiedene Größe des Hintergrundstörsignals in Frage kommt. Die Steilheit der ruhigeren Exemplare ist durchweg höher. Wenn aber eine Abhängigkeit zwischen Geräuschpegel und Steilheit bestünde, müßten die Exemplare mit größerer Steilheit (und damit höherer Verstärkung) die größeren Störpegel ergeben. Da dies nicht der Fall ist, kann die Steilheit keinen Einfluß auf das Störsignal haben. Ein Einfluß des Durchgriffs auf die Höhe des Störpegels ist deswegen unwahrscheinlich, weil der Fernsehverstärker mit kleinen Außenwiderständen arbeitet, so daß die Verstärkung $V = S \cdot R_a$ fast unabhängig vom Durchgriff ist.

5b. Größe und Herkunft der Gitterströme.

Denkbar ist ein Einfluß der Gittereigenschaften sowie des Vakuums auf den Störsignal-Pegel eines Rohres. F e h l e r h a f t e G i t t e r i s o l a t i o n kann zu Stromübergängen zwischen anderen Elektroden und dem Gitter und damit zu Ladungsänderungen führen, während s c h l e c h t e s V a k u u m Störungen durch Ionen ergibt, welche die Raumladung beeinflussen. Das Gitter kann ferner durch t h e r m i s c h e E l e k t r o n e n e m i s s i o n Anlaß zu Störungen ergeben, da diese Entladungsform raumladungsarm ist und infolgedessen alle austretenden Elektronen sofort abgesaugt werden. Der Faktor $\frac{\delta i}{\delta i}$ in Formel (1) (vgl. Llewellyn, l. c.) wird in diesem Fall 1, der Schroteffekt des vom Gitter emittierten Elektronenstromes erreicht ein Maximum.

Bei den Versuchsröhren werden Gasfaktor und thermische Gitteremission gemeinsam bestimmt, und zwar durch Messung des

Gitterstromes ($U_g < 0$) unter normalen Betriebsbedingungen. Der Strom wurde dabei mit einem Lichtzeigergalvanometer ($1^0 = 4{,}9 \cdot 10^{-9}$ A) abgelesen. Die sich ergebenden Gitterströme wurden in die einzelnen Komponenten zerlegt nach dem Gesichtspunkt, daß thermische Gitteremission einen von der Gittervorspannung unabhängigen Gitterstrom ergibt, während der Ionenstrom (wegen der Zunahme der Ionisation des Gasrestes mit dem Anodenstrom) bei hohem Anodenstrom groß ist und mit zunehmender Verriegelung des Rohres durch negative Gittervorspannung abnimmt. Bei dieser Messung treten Fehler durch Ströme auf, die über eventuell vorhandene Isolationswiderstände der Kathoden-Gitter und der Gitter-Anodenstrecke fließen. Diese Isolationswiderstände wurden getrennt nach zwei verschiedenen Verfahren bestimmt und bei der Bestimmung des Gasfaktors und der thermischen Gitteremission berücksichtigt. Die Richtung dieser Ströme ist negativ, der Elektronenfluß fließt also im äußeren Stromkreis zum Gitter.

Die Bestimmung der Isolationswiderstände geschah einmal durch direkte Messung mit hoher Spannung und einem sehr empfindlichen Instrument ($1^0 = 4{,}9 \cdot 10^{-9}$ A) bei geheizter Kathode, ferner durch die Entladung eines Kondensators über den Isolationswiderstand: Wenn die $I_a : U_g$-Kennlinie einer Röhre genau bekannt ist, kann aus der Veränderung des Anodenstroms bei konstanter Anodenspannung eine Veränderung der Gitterspannung abgelesen werden. Wird nun ein geladener Kondensator, dessen Entladungszeit über den eigenen Isolationswiderstand vorher mit einem Rohr extrem guter Gitterisolation (Eletrometerrohr) bestimmt wurde, über den Gitterisolationswiderstand eines Rohres entladen, so kann an Hand der Kennlinie dieses Rohres die Spannung am Kondensator laufend abgelesen werden. Die Zeit der Entladung von der Spannung V_1 bis V_2 wird gemessen, dann ist die Ladung Q bekannt, welche sich über den Isolationswiderstand R entladen hat. Um den durch die Nichtlinearität der Kondensatorentladung entstehenden Fehler klein zu halten, wird die Differenz $V_1 - V_2$ klein gehalten und zur Berechnung des Stromes das Mittel V_m zwischen beiden Spannungen, also $\frac{V_1 + V_2}{2}$ eingesetzt. Aus V_m, i und t wird dann R bestimmt.

Die Übereinstimmung der auf diese Weise gemessenen Isolationswiderstände mit den nach der direkten Methode [2]) gemessenen Werten ist gut.

2) Mit Gleichspannung (bis 100 V) und Galvanometer.

Auch aus diesen Messungen ist die Ursache der Streuung des Störsignals nicht ersichtlich, da z. B. die REN 904 völlig gleich sind bis auf den Gasfaktor, welcher allerdings bei dem Exemplar größeren Störsignals größer ist als bei dem Exemplar kleineren Störsignals. Der Gasfaktor ist aber bei den Exemplaren der Kl. 70580 gleich groß, und bei der S 9 ist er sogar bei dem Exemplar kleinen Störsignals fast 8mal größer als bei dem Exemplar großen Störsignals.

4c. Kathodenemission.

Ein Einfluß der maximalen Kathodenemission ist insofern denkbar, als bekannt ist, daß der durch den Schroteffekt bedingte Geräuschpegel abhängig von der Raumladung ist. Je kleiner die Raumladung ist, um so größer ist der Geräuschpegel, wegen des ungleichmäßigen Austritts der Elektronen aus der Kathode, welcher in der Raumladung geglättet wird. Wenn sich bei der Messung der Kathodenemission ergeben würde, daß der Pegel der Emission umgekehrt proportional ist, so müßte eine Vergrößerung der Kathode bei gleichbleibender Emissionsentnahme zu einer Beruhigung des Rohres führen.

Eine direkte Messung der Kathodenemission ist nicht möglich, weil die sich ergebenden Ströme zu hoch sind und zur Zerstörung der Röhre führen würde. So wird die Emission indirekt gemessen aus der Verschiebung der Anlaufkennlinien bei extrem niedriger Heizung (Sättigung 10^{-6} A) und bei normaler Heizung. Diese Messung ist unter dem Vorbehalt richtig, daß das Anlaufstromgesetz auch für Oxydkathoden gilt [3]). Da jedoch das Ergebnis der Messungen nur relativ gewertet wird, wird ein Fehler eine erheblich kleinere Rolle spielen. Die theoretische Grundlage [4]) dieser Messung ist folgende:

Da bei Oxydkathoden die Sättigungsströme sehr hoch liegen, andererseits aber bei kleiner Kathodentemperatur guter Sättigungscharakter zu erreichen ist, kann das Kontaktpotential E_k bestimmt werden, also das Potential, bei welchem bei allen Kathodentemperaturen Sättigung erreicht ist, und dann aus der Verschiebung der Anlaufkurve in Gebiete negativer Anodenspannung mit Hilfe der Richardsonschen Gleichung die Emission bei normaler Kathodentemperatur berechnet werden. Abb. 4 zeigt den Verlauf der Anlaufkurven sowie den Eintritt der Sättigung beim Potential E_k für verschiedene Kathodentemperaturen in idealisierter Darstellung.

3) Dies ist zwar anzunehmen, aber noch nicht bewiesen worden.
4) Nach W. Kleen, Telefunkenröhre H. 9.

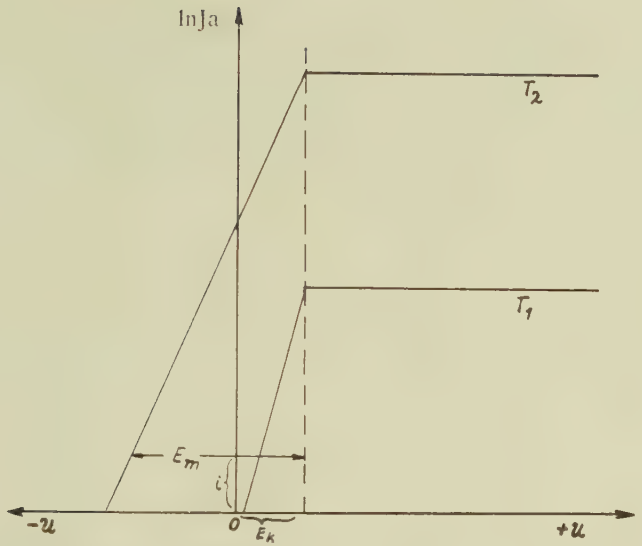

Abb. 4. Anlaufkurven und Sättigung von Glühkathoden bei verschiedenen Kathodentemperaturen.

Die Beziehung für den Anlaufstrom lautet

$$J = J_s \cdot e^{\frac{E}{E_o}}$$

oder:

$$J_s = J \cdot e^{-\frac{E}{E_o}}$$

Wird der Exponent in Volt ausgedrückt, so ergibt sich

$$J_s = i \cdot e^{\frac{-E_m \cdot 11\,600}{T}}$$

oder, da E_m negativ ist, erhält man für die Sättigung der Kathode bei der Temperatur T:

$$J_s = i \cdot e^{\frac{|E_m| \cdot 11\,600}{T}}$$

Nach dieser Methode wurde die Emission der Kathoden der untersuchten Röhren gemessen, wobei die Kathodentemperatur T jedesmal auf 1160° K eingestellt wurde. Die so gemessenen Werte lassen ebenfalls keinen einheitlichen Schluß auf den Ursprung des Geräuschpegels zu, da bei der S 9 das Exemplar größeren Hintergrundstörsignals, bei der Kl 70 580 aber das des kleineren Störsignals die größere Kathodenemission zeigt, während die REN 904 ungefähr einander gleich sind.

4d. Sekundäremission.

Ferner wurde untersucht, ob eventuell auftretende Sekundäremission (vgl. Lit. 16, 17), welche z. B. am Schirmgitter oder an der Anode entstehen kann, einen von der Ursprungsstelle der Sekundär-Emission zu einer Elektrode höherer Spannung fließenden Strom im Rohr hervorruft, welcher statistischen Gesetzen weit mehr unterworfen ist als der normale Emissionsstrom, da er raumladungsarm ist, also auch stark zur Bildung des Schroteffektes beitragen kann. Es wurden also deshalb die $J_a : U_a$-Kennlinien aller Röhren aufgenommen, und zwar die Kennlinien der Fanggitterröhre S 9 nur unter normalen Betriebsverhältnissen, also bei Verbindung des Fanggitters mit der Kathode. Die Röhren zeigen sämtlich keinerlei Sekundäremission[5]), so daß diese Ursache zur Entstehung eines verschieden großen Störpegels ausfällt.

Bei der statischen Messung der $J_a : U_a$-Kennlinie können folgende 2 Meßfehler eintreten:

1. Das Gebiet der Sekundäremission ist klein und fällt gerade zwischen zwei Meßpunkte, so daß es übersehen wird.

2. Es ist denkbar, daß die Sekundäremission der von Streuelektronen getroffenen Isolatoren Störungen ähnlich dem Schalteffekt (vgl. Lit. 16, 17) hervorruft.

Dieser ist durch statische Messungen nicht zu erkennen, sondern tritt erst im normalen Betrieb des Rohres auf und äußert sich in einer oder mehreren Unstetigkeiten der Charakteristik. Durch oszillographische Aufnahmen sind solche Unstetigkeiten gut zu erkennen (vgl. Lit. 16); es wurden deswegen die $J_a : U_a$-Kennlinien mit Hilfe einer Braunschen Röhre aufgenommen. Als Abszissenablenkung wurde eine Wechselspannung von 50 Hz verwendet, welche gleichzeitig die Anodenspannung des untersuchten Rohres

5) Eventuell auftretende Anodensekundäremission bei den Röhren S 9 kann wegen des Vorhandenseins eines Fanggitters nicht als Emissionsquelle in Erscheinung treten.

bildete, die Ordinatenablenkspannung lieferte der (stromproportionale) Spannungsabfall an einem Anodenwiderstand von 3000 Ohm.

Die Fanggitterröhre S 9 wurde dabei in 3 verschiedenen Schaltungen oszillographiert, und zwar als Dreielektrodenrohr geschaltet, als Vierelektrodenrohr und als Fünfelektrodenrohr.

Jeweils war das 2. und 3. Gitter oder nur das 3. Gitter mit der Anode und in der letzten Anordnung das 3. Gitter mit der Kathode verbunden.

In der Schaltung als Vierelektrodenrohr tritt die bekannte Anodensekundäremission auf, welche jedoch keinerlei unterschiedliches Verhalten zeigt.

Auch die übrigen Kennlinien geben keine Aufschlüsse über anormales Verhalten, welches als Ursache des Pegels in Betracht kommen könnte.

4e. Geräusche der Kathode und des Systemaufbaues.

Zum Schluß wurden die Röhren einer doppelten Klingprüfung unterzogen, und zwar wurden sie einmal als erste Röhre eines Verstärkers mit normalem Tonfrequenzbereich mit einem Klöppel angeschlagen. Eine Prüfung auf reine Kathodengeräusche, welche mit gegen den Heizfaden vorgespannten Kathodenröhrchen und Anschlagen der Röhre im Verstärker durchgeführt wird, ergab ebenso wie die reine Klingprüfung auch keinen Schluß auf die Herkunft des Hintergrundstörsignals.

6. Abhängigkeit des Hintergrundstörsignals von den mechanischen Eigenschaften des Elektrodenaufbaues.

Alle bisher gemachten Messungen haben noch keinen Anhaltspunkt für den Ursprung des Hintergrundstörsignals ergeben. Mit Sicherheit kann nur gesagt werden, daß die Kennlinieneigenschaften, die Sekundäremission, die Güte der Kathodenoberfläche sowie die, im Hörfrequenzbereich feststellbaren, Kling- oder Kratzeigenschaften des Kathodenkörpers sowie der Gitterträger ohne Einfluß auf die Größe des Störsignals sind. Um einwandfrei den Beweis zu liefern, daß die Kathode sowie deren Heizkörper, zwischen welchen unter Umständen durch die hohe Temperatur geförderte elektrolytische Vorgänge auftreten können, als Störungsursache nicht in Betracht kommt, wurden in Versuchsröhren Spezialkathoden eingebaut, welche diese Ursachen ausschließen. Es handelt sich um eine Kathode mit einer weiteren Schutzschicht zwischen Heizkörper und Kathodenträger (Abb. 5) [6]).

6) Nach H. Rothe, Telefunken.

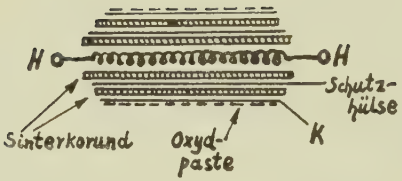

Abb. 5. Kathode mit Schutzhülse zwischen Heizkörper und Kathodenträger.

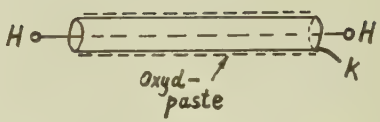

Abb. 6. Strahlungsgeheizte Kathode ohne jede Keramik.

Diese Schutzschicht war getrennt herausgeführt und konnte an ein beliebiges Potential angeschlossen werden. Es ergab sich, daß das Hintergrundstörsignal von der Vorspannung der Schutzhülse völlig unabhängig war. Ferner wurde eine strahlungsgeheizte Kathode nach Abb. 6 untersucht. Diese enthält keinerlei Keramik, das Kathodenröhrchen erhält seine Wärme lediglich durch Strahlung von dem zentrisch ausgespannten Heizfaden zugeführt. Auch hier wurde das Potential zwischen dem Heizfaden und dem Kathodenröhrchen variiert, ohne daß eine Änderung des Hintergrundstörsignals eintrat.

Ferner wurde bei einer normalen indirekt geheizten Kathode, welche gut durchwärmt war, der Heizkörper zweipolig abgeschaltet. Es zeigte sich, daß das Hintergrundstörsignal zunächst unverändert blieb, solange die Kathode genügend emissionsfähig war, dann infolge verringerter Raumladung stark anstieg und darauf auf Null abfiel. Jedenfalls zeigte sich kurz nach dem Abschalten des Heizkörpers keine Veränderung.

Alle diese Versuche zeigen, daß keine elektrischen oder elektrolytischen Vorgänge zwischen dem Kathodenträger und dem Heizkörper auftreten und das Störsignal verursachen können.

5b. Aufbau der Versuchsröhren.

Nachdem die Untersuchung aller elektrischen Eigenschaften der Röhren zu keinem Ergebnis geführt hatte, wurde eine rein mechanische Untersuchung des Elektrodenaufbaues vorgenommen. Beim Anschlagen des Röhrenkolbens mit einem Gummiklöppel wurde festgestellt, daß alle Röhren mit großem Störsignal einen klirrenden Ton, alle Röhren mit kleinem Störsignal einen glockenähnlichen Ton ergaben. Die Röhren wurden dann auseinandergenommen. Bei der Demontage wurde festgestellt, daß bei allen Röhren mit großem Störsignal einzelne Elek-

troden, besonders das Steuergitter, nicht festgehaltert waren [7]). Bei den Röhren mit kleinem Störsignal dagegen steckten die Elektroden sehr fest in ihrer keramischen Halterung.

In Tabelle 1 ist das Ergebnis dieser Untersuchung zusammengestellt. Die letzte Zeile enthält die früher (Seite 11—12) gemessenen Störsignal-Amplituden, ausgedrückt in Volt am Gitter der untersuchten Röhre.

Type:	S 9		Kl 70580		REN 904	
Nr.	1	2	1	2	1	2
Klirren d. Syst.	klirrt	klingt	klirrt	klingt	klirrt	klingt
Halterung d. Elektrod.	locker	fest	locker	fest	locker	fest
Bildstörpegel [8])	$1.88\ 10^{-4x}$	$1.25\ 10^{-4x}$			3.10^{-6xx}	1.10^{-6xx}

x im 500 KHz-Band.
xx im 10 KHz-Band.

Tab. 1. Zusammenhang zwischen dem mechanischen Aufbau der Versuchsröhren und dem Störsignalpegel.

Zur weiteren Untersuchung der Erscheinung wurden Fernsehpentoden und REN 904 gebaut, deren Elektrodensysteme zwischen keramischen Brücken montiert waren. Bei der ersten Gruppe hatten die Befestigungslöcher einen größeren Durchmesser als die Stege der Elektroden; die entsprechenden Röhren ergaben beim Anschlagen einen klirrenden Ton. Bei der zweiten Gruppe waren die Befestigungslöcher in der Keramik genau passend und etwas konisch gebohrt, so daß die Haltestege völlig festgehalten waren. Diese Röhren klirrten nicht. Die dritte Ausführung enthielt genau dieselben Systeme; die Haltestege waren jedoch nicht in Keramik montiert, sondern in Glasbrücken eingeschmolzen.

5c. Messungen am Fernsehverstärker.

Für die Untersuchung wurde bei geerdetem Steuergitter der Störsignalpegel bis zur Meßbarkeit mit dem statischen Voltmeter verstärkt.

7) Diese lockere Halterung braucht also, wie die Bestimmung des Mikrophoneffekts zeigt, durchaus nicht immer einen Mikrophoneffekt oder Kratzen der Röhren im Betrieb hervorzurufen.

8) Bei Verwendung als Eingangsrohr im Fernsehverstärker.

Für die REN 904 wurde ein Tonfrequenzverstärker (Durchlaßbereich 9 kHz) verwendet und die Störspannung auf das Gitter des untersuchten Rohres zurückgerechnet. Die Werte der nachfolgenden Tabelle 2 enthalten die jeweils abgelesenen Minimal- und Maximalwerte der Ablesung des Ausgangsvoltmeters.

Röhre Nr.	Ausgesuchte Röhren	Versuchsröhre Glasbrücke	Versuchsröhre Keramik II	Versuchsröhre Keramik I
1	1	1,1—1,3	1,0—1,2	2,0—2,3
2	3	2,0—2,4	2,9—4,3	5,0—7,0

Tab. 2. Störsignal-Amplituden je zweier Versuchsröhren REN 904, angegeben in μV am Verstärkereingang.

Der gleichen Prüfung wurden die Röhren S 9 unterzogen, mit dem Unterschied, daß sie in einem Vorsatzgerät, welches Einstellung des Anodenstromes gestattete, und welches ferner gegen äußere Einflüsse völlig gepanzert war, vor den Fernsehverstärker geschaltet wurden. Die am Ausgang des Verstärkers gemessenen Störsignal-Amplituden sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Sie wurden mit einem sehr trägen elektrostatischen Instrument gemessen, welches nur die Mittelwerte der Schwankungen anzeigte.

Röhre Nr.	Ausgesuchte Röhren	Versuchsröhre Glasbrücke	Versuchsröhre Keramik II	Versuchsröhre Keramik I
1	4	3,5	4	5
2	6	3,5	4	6

Tab. 3. Störsignal-Amplituden der gebauten Versuchsröhren S 9, am Ausgang des Verstärkers gemessen. (Volt).

Der am Ausgang des Fernsehverstärkers zu erwartende Pegel des reinen Schroteffektes sowie des Wärmeeffektes wurde eingangs (vgl. S. 6 ff.) mit 3,06 V berechnet. Aus Tab. 3 ergibt sich als gemessener Wert für das Störsignal desjenigen Röhrenaufbaues, bei welchem k e i n e zusätzlichen Störeffekte auftreten (Glasbrückenaufbau), eine Störsignalamplitude von 3,5 Volt. Innerhalb der Rechen- und Meßgenauigkeit stimmt dieser Wert mit dem theoretisch berechneten von 3,06 Volt gut überein, so daß dieser Störsignal-Pegel von 3,5 Volt tatsächlich allein auf

den Schroteffekt zurückgeführt werden kann. Es ist also möglich, durch Vermeidung der allgemein üblichen Montage in keramischen Brücken, den Geräuschpegel mindestens um den Faktor 2 zu verkleinern.

5d. Schlußfolgerungen.

Die Versuche führen zu folgender Vorstellung über die Ursache des Störsignales: Die in den Röhren verwendeten keramischen Isolierkörper haben eine sehr poröse Oberfläche. Beim Pumpprozeß, sowie auch während des normalen Betriebes, dampfen Metalle, z. B. Nickel aus den Elektroden, vor allem aber Barium aus der Kathode, auf die Keramik. Wegen der Porosität der Keramik entstehen keine eigentlichen leitenden Überzüge, wie sie etwa auf glatten Isolatoren (Glimmer) entstehen würden, sondern es entstehen kleinere oder größere Inseln leitender Substanz, welche untereinander keine meßbar leitfähige Verbindung haben, deren Leitfähigkeit aber wohl ausreicht, den leitenden Inseln von benachbarten Elektroden her (Kathode, Schirmgitter, Anode) ein bestimmtes Potential zu geben. Völlig isolierte Inseln können ihre Ladung auch durch Streuelektronen sowie durch damit verbundene Sekundäremission erhalten. Wenn nun kleinere Erschütterungen, welche entweder ihren Ursprung in der Kathode haben, oder von außen auf das Rohr gelangen, den Aufbau des Rohres in Vibrationen versetzen, fangen die Haltestege des Steuergitters an zu zittern und berühren dabei die sie haltenden keramischen Träger fester oder loser. Das hat zur Folge, daß die Inseln leitender Substanz auf der Keramik zwischen besserem oder schlechterem Kontakt mit den Gitterstegen pendeln, so daß die Ladung der Inseln auf das Gitter gelangt und dort momentane Potentialverlagerungen verursacht, welche ihrerseits den Anodenstrom steuern. Dieser zusätzliche Störeffekt, der also eine rein mechanische Kontakterscheinung ist, kann wegen der beliebigen Flankensteilheit der Kontaktkurve alle, bis zu den höchsten vom Verstärker durchgelassenen, Frequenzen umfassen. Seine Bestimmung im niederfrequenten Bereich ist schwierig, da der Effekt mit langsamer werdender Frequenz mehr und mehr vom Funkeleffekt überdeckt wird, der seinerseits wegen seiner Inkonstanz einer exakten Messung nicht zugänglich ist. Immerhin zeigt die im tonfrequenten Gebiet bis 10 kHz vorgenommene Messung der R E N 904-Versuchsreihe, daß der gefundene Störeffekt auch hier vorliegt und durch dieselben Mittel beseitigt werden kann, wie im

hochfrequenten Gebiet. Daß diese Erklärung des Effektes tatsächlich stimmt, wurde durch zwei einfache Versuche bewiesen.

1. Der Geräuschpegel einer Röhre mit lockerer Halterung konnte durch mechanisches Anschlagen der Röhre verändert werden, das heißt, das Gitter wurde durch die Erschütterungen in eine andere Lage zur Halterung gebracht und dadurch die Berührung mit der Halterung verändert.

2. Ein solches Rohr, welches bei vertikal stehendem Elektrodensystem einen großen Störpegel aufwies, wurde so gekippt, daß der Aufbau horizontal lag. Dadurch legte sich der Gittersteg fester an die Halterung an und der Störpegel ging auf etwa $^1/_3$ des ursprünglichen Wertes zurück.

Beseitigt wird der Effekt durch absolut feste Halterung der Elektroden, besonders des Gitters. Eine Ausbildung von Übergangswiderständen wechselnder Größe muß vermieden werden, da das oft über beträchtliche Außenwiderstände abgeleitete Gitter schon durch eine kleine Ladungsmenge eine störende Potentialänderung erfahren kann. Konstante Übergangswiderstände verursachen den Störeffekt nicht, da eine metallische Leitfähigkeit zwischen dem Steuergitter und anderen Elektroden höchstens eine konstante, aber keine wechselnde Vorbelastung des Gitters ergibt, welche auf den Anodenstrom ohne Einfluß ist, und nur den Gitterkreis dämpft.

Aus den vorliegenden Versuchen und Messungen ergibt sich zwangsläufig als idealer Aufbau eine Halterung der Systemteile in einem Isolator, welcher weder von Streuelektronen, noch von Metallatomstrahlen getroffen werden kann, und welcher außerdem einen möglichst langen Isolationsweg zwischen der Halterung des steuernden Gitters und der der anderen Elektroden aufweist.

Diese Forderung wird vom Glasbrückenaufbau (Abb. 7) erfüllt, wenn die Gitterstege mit einem, den Isolationsweg verlängernden Glasröhrchen umgeben sind. Auch eine aus mehreren Glimmerscheiben oder aus Keramik und Glimmer zusammengesetzte Halterung (Abb. 8) ist dann einwandfrei, wenn die Elektrodendrähte, z. B. durch konische Form der Zapfen oder der Löcher, mechanisch absolut festgehalten werden.

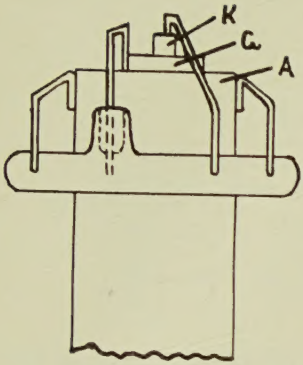

Abb. 7. Zweckmäßiger Glasbrückenaufbau

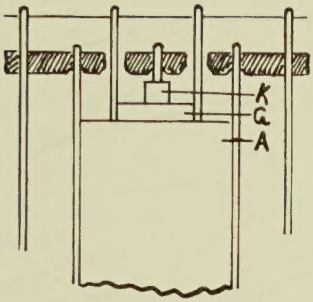

Abb. 8. Zweckmäßiger Keramik-Glimmer-Aufbau.

6. Zusammenfassung.

Im Fernsehverstärker wurde beobachtet, daß Röhren derselben Type verschiedene Pegel des Hintergrund-Störsignals haben können. Es wurde an Hand der Exemplare mit maximaler Streuung, welche aus einem größeren Vorrat ausgewählt wurden, die Ursache der Pegeldifferenzen untersucht.

Es wurde festgestellt, daß die elektrischen Röhrenkonstanten (Steilheit, Durchgriff, Innenwiderstand, Kathodenemission usw.) keinen Einfluß auf die Größe des Störsignals haben. Als Ursache des Effekts wurden die veränderlichen Übergangswiderstände gefunden, die sich bei nicht genügend festgehalterten Elektrodensystemen zwischen Steuergittersteg und andern Elektrodenstegen einstellen. Durch absichtlich fehlerhaft gebaute Elektrodensysteme konnten die gefundenen Resultate beliebig reproduziert werden.

Die vorliegende Arbeit wurde im Röhrenlaboratorium der Telefunken, Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H., zu Berlin, gemacht.

Für besondere Förderung und Unterstützung der Arbeit bin ich Herrn Professor Schröter sowie Herrn Dr. Knoll zu großem Dank verpflichtet. Den Herren Dr. Rothe und Dr. Kleen verdanke ich vielfache Anregungen.

7. Literaturverzeichnis.

1. Schottky: Spontane Stromschwankungen in verschiedenen Elektrizitätsleitern. Ann. d. Phys. 57, 1918, 541.
   Ergänzungen dazu:
   Hartmann: Ann. d. Phys. 65, 1921, 51.
   Schottky: Ann. d. Phys. 65, 1921, 79.
   Johnson: Ann. d. Phys. 67, 1922, 154.
   Schottky: Ann. d. Phys. 68, 1922, 157.
   Ornstein-Burger: Ann. d. Phys. 70, 1923, 622.
2. Hull u. Williams: Determination of elem. charge with shot-effect. Phys. Rev. 25, 1925, 147.
3. Cambell: Schrot-effect. Phil Mag. 50, 1925, 81.
4. Schottky: Small-shot effect and flicker-effect. Phys. Rev. 28, 1926, 74.
5. Williams u. Huxford: Charge of positive thermions and shot-effect. Phys. Rev. 33, 1929, 773.
6. Llewellyn: Study of noise. Proc. I.R.E. 18, 1930, 243.
7. Kozanowski u. Williams: Shot-effect from oxyde-cathodes. Phys. Rev. 36, 1930, 1314.
8. Thatcher u. Williams: Shot-effect in space-charge limited currents. Phys. Rev. 39, 1932, 477.
9. Brintzinger u. Viehmann: Empfängerrauschen. HFT. 1932, H. 6.
10. Pearson: Fluctuation noise in vacuum tubes. Bell Syst. t. J. 13, 1934, H. 4.
11. Hauteville: Störgeräusche bei indirekt geheizten Röhren. Funkt. Monatsh. 1934, S. 89.
12. Gehrts: Statistik der Glühelektronenemission. Phys. Zs. 35, 1934, 692.
13. Moullin u. Ellis: Journ. Inst. El. Eng. 74, 1934, 448.
14. Johnson u. Nyquist: Thermal agitation. Phys. Rev. 32, 1928, 97; Phys. Rev. 32, 1928, 110; Phys. Rev. 38, 1928.
15. Rothe u. Kleen: Aufbau von Glimmentladungen. Naturwiss. 21, 1933, H. 43, 772.
16. Jobst u. Sammer: Streuelektronen in Verstärkerröhren. Telefunken-Röhre, 1, 1934/35, S. 8—27.
17. Jobst: Außerordentliche Emissionsquellen in Senderöhren. Tel.-Zeitg. 48, S. 11.
18. Schottky: Phys. Rev. 28, 1926, 74.
19. Johnson: Phys. Rev. 26, 1925, 71.

Lebenslauf.

Ich, Joachim Wilhelm Eduard Schloemilch, wurde am 6. Dezember 1908 als Sohn des Ingenieurs Wilhelm Schloemilch in Berlin geboren. Von 1915 bis 1920 erhielt ich Privatunterricht und besuchte dann das Reform-Realgymnasium zu Eutin in Holstein bis zur Untertertia und kam 1922 auf das Reform-Realgymnasium nach Berlin-Lichterfelde, wo ich 1928 die Reifeprüfung ablegte. Ich bezog dann die Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin zum Physikstudium. 1932 ließ ich mich exmatrikulieren und begann bei Telefunken eine Arbeit über Lenard-Phosphore. Diese Arbeit wurde 1934 unterbrochen, worauf die vorliegende Arbeit über das Hintergrund-Störsignal im Fernsehverstärker begonnen wurde.